

تعیین تنش‌های ارتعاشی یک پمپ گریز از مرکز تحت اثر کاویتاسیون با استفاده از آنالیز طیف فرکانسی

ناهید طاهریان
استادیار و عضو هیأت علمی دانشگاه
خوارزمی
taherian@khu.ac.ir

مهدی حمزه‌ای
دانشیار گروه مهندسی مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی
واحد اهواز
mahdi_hamzei@iauhvaz.ac.ir

مهدی شهریاری*
کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، شرکت
ملی مناطق نفت خیز جنوب
meh2005sh@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۳۰

چکیده

در این مقاله با استفاده از آنالیز طیفی در نرم‌افزار انسیس به تعیین تنش‌های حاصل از ارتعاش پمپ پرداخته می‌شود. مدل استفاده شده در این تحقیق شامل پمپ و سیال عبوری از آن می‌باشد. پمپ مدل شده در این جا از نوع گریز از مرکز بوده که دارای ساختاری حلزونی شکل است. شرکت سازنده این پمپ KSB و مدل آن KWP K350-400 است. همچنین، در این تحقیق پروانه پمپ مدل شده و اثر دیگر اجزای پمپ به صورت شرایط مرزی بر روی آن اعمال می‌گردد. برای این کار با استفاده از برهم‌کنش سیال-سازه در هنگام ورود سیال به پمپ و کاهش فشار آن در ورودی پروانه پمپ فرایند کاویتاسیون در پمپ را شبیه‌سازی کرده و با استفاده از روش کوپل دو طرفه ی سیال با سازه، ارتعاشات به‌وجود آمده از این پدیده محاسبه می‌گردند. پس از آن ارتعاشات به‌وجود آمده ناشی از کاویتاسیون در پمپ توسط آنالیز طیفی در پمپ شبیه‌سازی شده و تنش‌های به‌وجود آمده محاسبه می‌گردند.

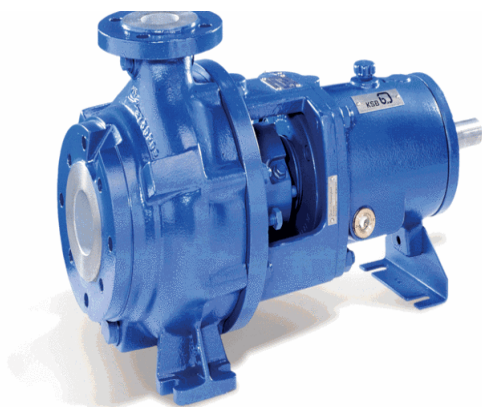
واژگان کلیدی: آنالیز طیف فرکانسی، ارتعاشات، پمپ گریز از مرکز، کاویتاسیون

۱. مقدمه

می‌پوشاند. سیال به صورت محوری وارد پروانه شده و توسط پره‌های آن، انرژی جنبشی و فشاری لازم را به‌دست می‌آورد. هنگامی که سیال پروانه را ترک می‌کند، با سرعت بالایی وارد حلزونی یا دیفیوزر^۲ می‌گردد، و در آن جا انرژی جنبشی آن به انرژی فشاری تبدیل می‌شود [۱، ۲]. این عمل همراه با کاهش سرعت بوده و پس از آن سیال از ماشین خارج می‌شود. یکی از مهم‌ترین مشکلات عملکردی این پمپ‌ها بروز پدیده کاویتاسیون است که باعث خوردگی

پمپ‌های سانتریفیوژ کاربرد وسیعی در صنایع مختلف از جمله نفت، گاز و پتروشیمی، نیروگاه‌های حرارتی و در مجموع هر جا نیاز به بالا بردن فشار جریان سیالات باشد، دارند. این پمپ‌ها به دلیل شکل ساده ساختمانی، نسبت پایین حجم به قدرت مصرفی و تنوع فراوان مورد مصرف، نسبت به سایر پمپ‌ها، از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. یک پمپ گریز از مرکز شامل یک یا چند پروانه است که روی یک شافت^۱ سوار می‌شوند و محفظه‌ای روی آنها را

مقاله تعیین تنش‌های ارتعاشی حاصل از پدیده کاویتاسیون در پمپ‌های سانتریفیوژ است. در شکل ۱-الف و ۱-ب نمونه‌ای از پمپ مورد مطالعه و ایمپلر مربوطه نشان داده شده است.



شکل ۱-الف. نمای کلی پمپ مورد مطالعه



شکل ۱-ب. پروانه استفاده شده در پمپ گریز از مرکز

۳. مدل‌سازی و شبکه‌بندی

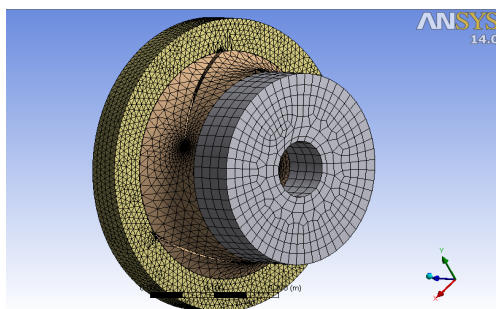
مدل استفاده شده در این مقاله شامل پمپ و سیال عبوری از آن است. پمپ مدل شده در این مقاله از نوع گریز از مرکز است. این پمپ کاربردی از نوع لجن‌کشی داشته و معمولاً در سیالی که پمپ می‌کند مغروق است. پروانه^۵ این پمپ از نوع کاملاً بسته است. شرکت سازنده‌ی این پمپ KSB بوده و مدل آن KWP K350-400 است. حرف K بیانگر نوع پروانه بوده و عددهای ۳۵۰ و ۴۰۰ به ترتیب نشان دهنده قطر نازل تخلیه و قطر نامی پروانه هستند. سیال استفاده شده در این مقاله آب بوده که مشخصات فیزیکی آن

پروانه، ایجاد سر و صدا و مهم‌تر از همه ارتعاشات ناخواسته و افت عملکرد پمپ می‌شود. کاویتاسیون به تشکیل حباب‌های بخار در نواحی کم فشار پمپ و متعاقب آن ترکیدن و متلاشی شدن آنها در نواحی پر فشار گفته می‌شود و زمانی اتفاق می‌افتد که فشار مطلق در مایع، پایین‌تر از فشار بخار آن باشد [۳، ۴، ۹]. پدیده کاویتاسیون از دو منظر قابل بررسی است، اول بررسی و شناسایی شرایط منتهی به ظهور کاویتاسیون و همچنین نشانه‌های ظهور پدیده و دوم بررسی تأثیر بر عملکرد ارتعاشی^۳ دستگاه پس از ایجاد و توسعه کاویتاسیون. شروع کاویتاسیون با نشانه‌هایی همراه است که شناسایی شروع پدیده از طریق آنها ممکن می‌شود. از آن دسته می‌توان تغییر در سطح و فرکانس صدای تولیدی دستگاه و تغییر در میزان و ویژگی‌های ارتعاشی تجهیز را نام برد [۵، ۶، ۱۰، ۱۱]. مک نالتی در سال ۱۹۷۹ نقطه شروع کاویتاسیون را با استفاده از اندازه‌گیری صدا تعیین نمود [۷]. یاماموتو در سال ۱۹۹۱ خودنوسانی را در پمپ‌های سانتریفیوژ در حال کاویتاسیون مشاهده نمود و مورد مطالعه قرار داد [۸]. هدف این مقاله تعیین تنش‌های ارتعاشی حاصل از پدیده‌ی کاویتاسیون در پمپ‌های سانتریفیوژ است. همچنین این تحقیق بر روی پمپ KWP K350-400 پتروشیمی فجر واقع در منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر است که اولین بار توسط نویسندگان مقاله انجام گرفته است.

۲. تعریف مسئله

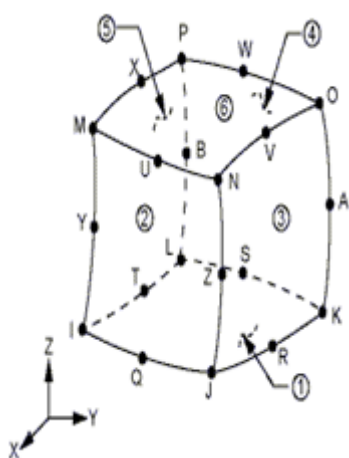
ارتعاشات تجهیزات صنعتی همیشه به عنوان یک مشکل اساسی برای صنعتگران مطرح بوده است. یکی از تجهیزات بسیار مهم در صنعت، پمپ‌ها هستند، که ارتعاش آنها همواره مورد توجه بوده است. از عوامل ایجاد ارتعاش بر پمپ‌ها پدیده جریان است که خود شامل مواردی مثل کاویتاسیون، ضربه قوچ، تغییرات هد خالص مکش مثبت ($NPSH^4$)، سیال دوغابی و دوفازی و دیگر عوامل می‌باشد. این عوامل هر کدام باعث ارتعاش در پمپ‌ها خواهند شد. هدف از این

شکل ۲-الف. پروانه مدل‌سازی شده پمپ پروانه‌ای لجن کش



شکل ۲-ب. شبکه‌بندی سیال عبوری از پروانه پمپ با استفاده از نرم‌افزار ANSYS

ناحیه‌ی مربوط به سیال در این شبیه‌سازی، با استفاده از حلگرهای قدرتمند نرم‌افزار CFX به‌طور هم‌زمان با ناحیه جامد حل شده و برهم‌کنش این دو حوزه مورد بررسی قرار می‌گیرد. بخش جامد که شامل پروانه پمپ می‌شود توسط المان سازه‌ای از نوع SOLID 186 شبکه‌بندی شده است. این المان سه بعدی از نوع مرتبه بالا بوده و دارای ۲۰ گره است که توسط این گره‌ها جابه‌جایی‌ها را به صورت درجه دوم پیش‌بینی می‌کند. هر گره از این المان دارای سه درجه آزادی بوده که انتقال در راستای محوره‌های X , Y , Z را در شبیه‌سازی پیش‌بینی می‌کنند. شکل ۳ تصویری از این المان مربعی شکل را نشان می‌دهد.

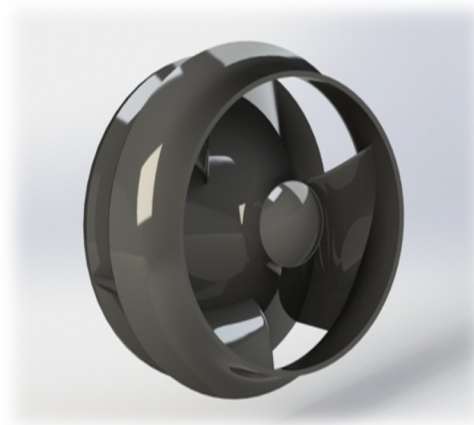


شکل ۳. تصویری از ساختار همگن در المان سازه‌ای SOLID 186

مستقل از دما و در دمای ۲۵ درجه در نظر گرفته شد. همچنین فرض شد که فشار بخار آب ثابت بوده و مقدار آن برابر ۳۷۵۰ پاسکال است. جنس پروانه پمپ نیز فولاد ضدزنگ در نظر گرفته شد. شناسه این نوع فولاد در استاندارد EN برابر ۱/۴۵۹۳ است (جدول ۱). شکل ۲ پروانه و سیال شبیه‌سازی شده را نمایش می‌دهد.

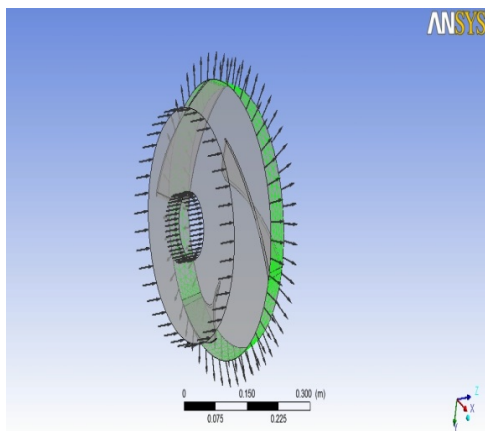
جدول ۱. خواص فیزیکی فولاد ریخته‌گری شده ضدزنگ

جنس ماده	CK3MCuN (۱/۴۵۹۳)
درصد افزایش طول تا شکست	۳۵
چگالی g/cm^3	۸/۱
حداکثر دمای کارکرد (c0)	۱۳۵۰
حداقل مقاومت تسلیم (MPa)	۲۶۰
ظرفیت حرارتی مخصوص (J/kg.k)	۴۶۰
ظرفیت حرارتی مخصوص (J/kg.k)	۴۶۰
حداقل مقاومت کششی (MPa)	۵۰۰
هدایت گرمایی (W/m.K)	۱۲
ضریب پواسون	۰/۲۸

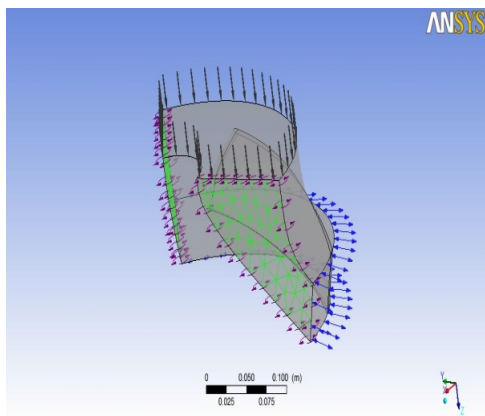


۴. شرایط مرزی

دو نوع شرایط مرزی در این تحقیق در نظر گرفته شده است. نوع اول شرایط مرزی^۷ بدیهی هستند، به عنوان مثال جداره حلزونی به عنوان دیواره ساکن و پره‌ها به عنوان دیواره‌های متحرک در نظر گرفته می‌شوند. نوع دوم شرایط مرزی ورودی و خروجی هستند که در این مقاله شرط مرزی ورودی و فشار و شرط مرزی خروجی دبی در نظر گرفته شده است. در شکل ۶-الف و ۶-ب شرایط مرزی نشان داده شده است.



شکل ۶-الف. نمونه‌ای از بارگذاری سیال روی ایمپلر (شرط مرزی ورودی و خروجی)

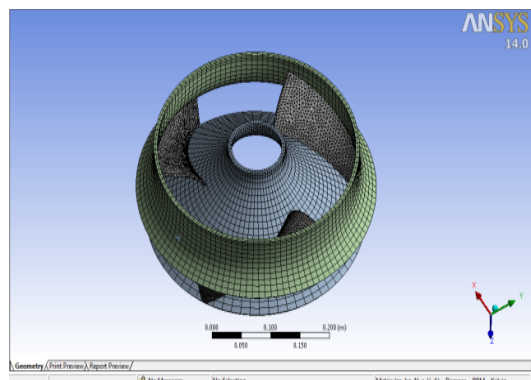


شکل ۶-ب. نمونه‌ای از بارگذاری سیال روی یک سوم ایمپلر (شرط مرزی ورودی و خروجی)

۵. روش حل

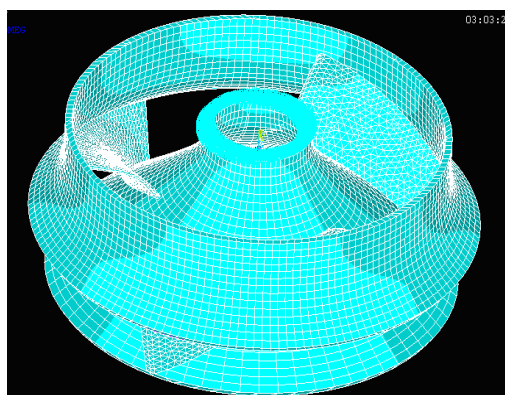
برای حل این مسئله از نرم‌افزار انسیس استفاده شده است. در این مقاله با استفاده از روش آنالیز طیفی در نرم‌افزار

علت استفاده از المان‌های درجه دو آن است که تعداد گره‌های آن زیاد بوده و باعث انعطاف‌پذیری بیشتر نسبت به منحنی‌های موجود در هندسه می‌شود. شکل ۴ نمونه‌ای از شبکه‌بندی پروانه پمپ مورد نظر را نشان می‌دهد.

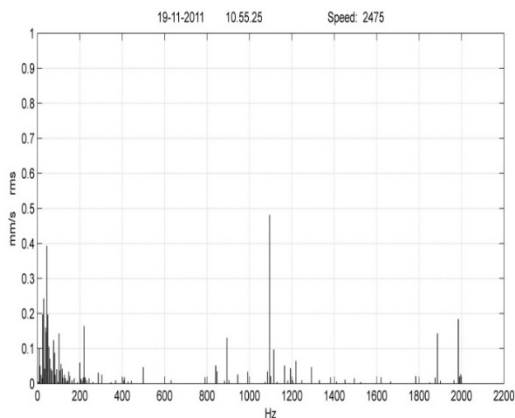


شکل ۴. شبکه‌بندی پروانه پمپ گریز از مرکز با استفاده از نرم‌افزار ANSYS 14.0

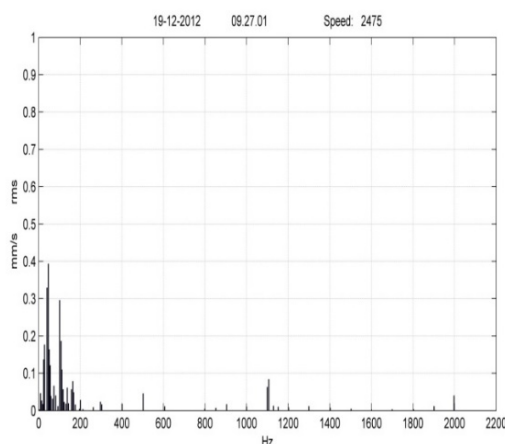
پس از آنکه مدل هندسی ایجاد شد باید آن را تبدیل به مدل اجزای محدود^۸ کرد. به عبارتی باید پمپ مدل شده و سیال عبوری از آن شبکه‌بندی شده و جهت انجام تحلیل، به نرم‌افزار تحلیل اجزا محدود برده شود. شبیه‌ساز مورد استفاده در این بخش یک ماژول بسیار قوی به نام CFX در نرم‌افزار انسیس بوده که وظیفه حل حوزه سیال را به عهده دارد. شکل ۵ شبکه‌بندی سیال عبوری از پروانه را نشان می‌دهد که از المان مربعی شکل استفاده شده است.



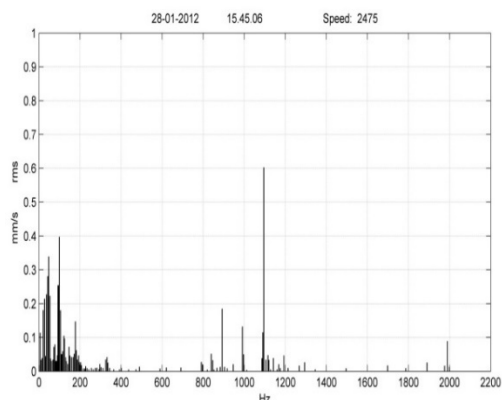
شکل ۵. شبکه‌بندی سیال عبوری از پروانه پمپ با استفاده از نرم‌افزار ANSYS 14.0



شکل ۷-ب. اطلاعات ثبت شده در اداره‌ی CM مربوط به ارتعاش پمپ گریز از مرکز

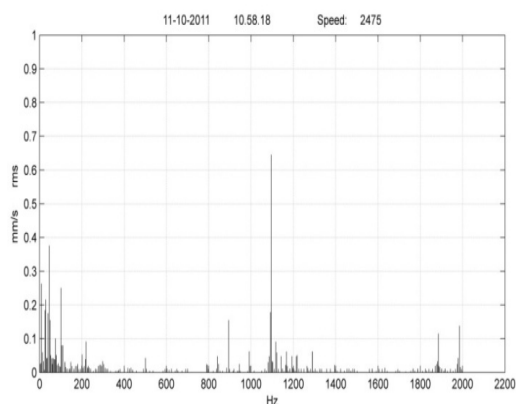


شکل ۷-پ. اطلاعات ثبت شده در اداره‌ی CM مربوط به ارتعاش پمپ گریز از مرکز

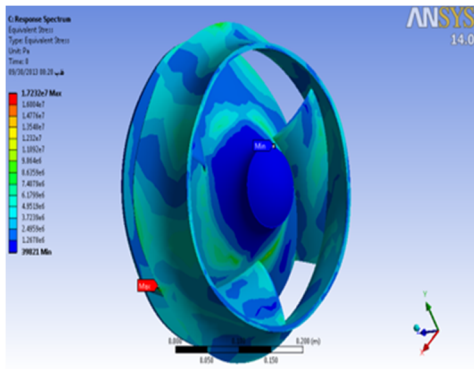


شکل ۷-ت. اطلاعات ثبت شده در اداره‌ی CM مربوط به ارتعاش پمپ گریز از مرکز

انسیس به تعیین تنش‌های حاصل از ارتعاش پمپ پرداخته می‌شود. آنالیز طیفی روشی است که در آن از نتایج یک آنالیز مودال^۸ با داشتن یک طیف معلوم، می‌توان تغییر مکان و تنش‌ها را در مدل محاسبه کرد. به‌طور کلی این نوع آنالیز جهت استخراج تنش‌های ارتعاشی در مدل‌هایی که تحت بارگذاری‌های تصادفی وابسته به زمان قرار دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. طیف مورد نیاز در این تحقیق از اداره CM به‌دست آمده که زیر مجموعه‌ای از پتروشیمی فجر است. این طیف‌ها شامل سرعت انتقالی یا تاقان‌های تکیه‌گاه پمپ بر حسب فرکانس است. شکل‌های ۷-الف تا ۷-و طیف‌های ثبت شده توسط اداره CM را در شش روز مختلف نشان می‌دهند. این طیف‌ها وارد نرم‌افزار متلب شده و با استفاده از پردازش تصویر^۹ که عبارت است از هر نوع پردازش سیگنال که ورودی آن یک تصویر است. مثل عکس یا صحنه‌ای از یک فیلم و خروجی پردازشگر تصویر می‌تواند یک تصویر یا یک مجموعه از نشان‌های ویژه یا متغیرهای مربوط به تصویر باشد. با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از این نرم‌افزار و اطلاعات ثبت شده در قسمت‌های قبل به آنالیز طیفی پروانه پمپ پرداخته می‌شود.

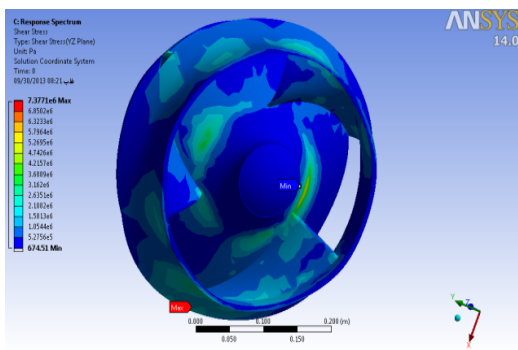


شکل ۷-الف. اطلاعات ثبت شده در اداره‌ی CM مربوط به ارتعاش پمپ گریز از مرکز

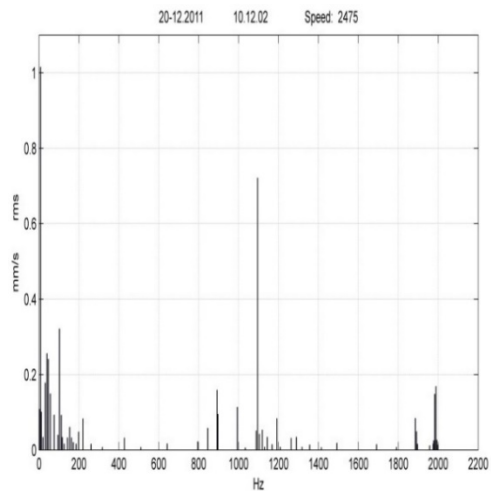


شکل ۸. تنش‌های فون مایز به وجود آمده در پروانه پمپ گریز از مرکز ناشی از ارتعاشات بر حسب Pa (حالت بدون سیال)

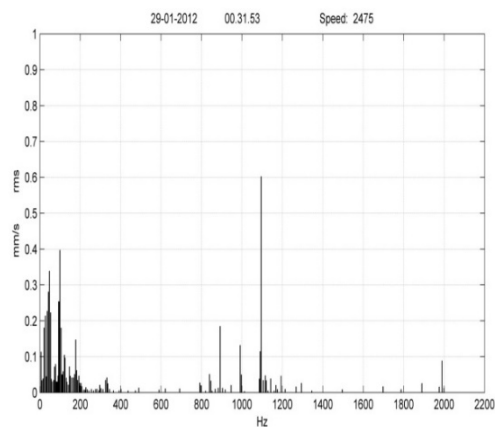
همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود میزان این تنش‌ها در نزدیکی چشم پروانه بیشتر است که علت آن را می‌توان اتصال پروانه پمپ به محور دوار آن دانست. در واقع سختی زیاد محور در مقایسه با پروانه پمپ، باعث ایجاد تمرکز تنش در این قسمت شده و تنش‌های برشی را افزایش می‌دهد. البته میزان این تنش‌ها همواره کمتر از تنش تسلیم است. به این نکته نیز باید توجه کرد که تنش‌های به دست آمده صرفاً ناشی از ارتعاش بوده و فشار سیال در این تحلیل مورد بررسی قرار نگرفته است. در شکل ۹ تنش‌های برشی ناشی از ارتعاشات تصادفی پروانه پمپ نمایش داده شده است. همان‌طور که در این شکل نیز مشاهده می‌شود تمرکز تنش در محل چشم پروانه می‌باشد. بیشترین مقدار تنش برشی نیز در انتهای تیغه‌ی پره است.



شکل ۹. تنش‌های برشی به وجود آمده در پروانه پمپ گریز از مرکز ناشی از ارتعاشات بر حسب Pa (حالت بدون سیال)



شکل ۷-ه. اطلاعات ثبت شده در اداره‌ی CM مربوط به ارتعاش پمپ گریز از مرکز

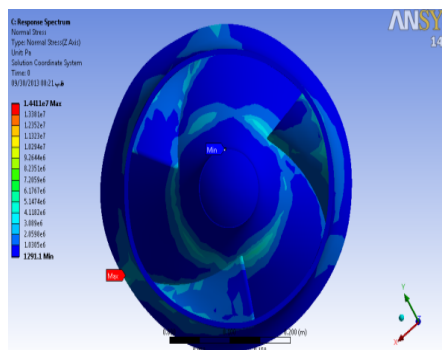


شکل ۷-و. اطلاعات ثبت شده در اداره‌ی CM مربوط به ارتعاش پمپ گریز از مرکز

۶. نتایج

از اطلاعات دریافتی از اداره‌ی CM به بررسی تنش‌های ایجاد شده در پروانه‌ی پمپ پرداخته می‌شود. پس از استخراج داده‌های موجود در نمودار و وارد کردن آنها در نرم‌افزار انسیس به تحلیل مدل شبیه‌سازی شده پرداخته می‌شود. شکل ۸ تنش‌های فون مایز به وجود آمده در پروانه پمپ به تاریخ ۲۰/۱۲/۲۰۱۱ را نشان می‌دهد.

شکل ۱۰ تنش‌های نرمال به‌وجود آمده در پروانه پمپ به تاریخ ۲۰/۱۲/۲۰۱۱ را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار این نوع تنش در انتهای تیغه و در محل اتصال تیغه با تویی پروانه قرار دارد. در ضمن نتایج شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ به ۴۵ ثانیه بعد از شروع کارکرد پمپ مربوط است.



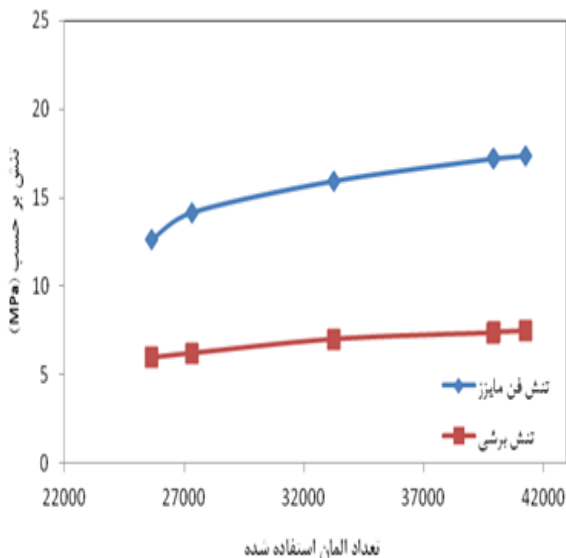
شکل ۱۰. تنش‌های نرمال به‌وجود آمده در پروانه پمپ گریز از مرکز ناشی از ارتعاشات بر حسب Pa در راستای Z (حالت بدون سیال)

تعداد المان‌های مورد استفاده در این شبیه‌سازی ۳۹۸۸۷ می‌باشند. این تعداد المان مناسب‌ترین حالت برای تحلیل طیفی پروانه پمپ گریز از مرکز است. جدول ۲ بیشترین تنش‌های فون مایرز، برشی و بیشترین جابه‌جایی‌هایی در جهت Z را بر حسب تعداد المان‌های استفاده شده در شبکه‌بندی پروانه پمپ نشان می‌دهد. بیشترین تنش در تاریخ ۲۰/۱۲/۲۰۱۱ اتفاق افتاده است.

جدول ۲. بررسی تأثیر تعداد المان‌های استفاده شده در نتایج به‌دست آمده در تاریخ ۲۰/۱۲/۲۰۱۱

تعداد المان	بیشترین تنش فن‌مایرز (MPa)	بیشترین جابه‌جایی در جهت Z (mm)	بیشترین تنش برشی در جهت YZ (MPa)
۲۵۶۴۱	۱۲/۶۳۵	-۰/۲۲۷۶۶	۵/۹۷۴۹
۲۷۳۴۶	۱۴/۱۷۵	-۰/۲۳۱۳۱	۶/۲۲۱۶
۳۳۳۶۱	۱۵/۹۶۱	-۰/۲۳۸۱۱	۷/۰۱۳۸
۳۹۸۸۷	۱۷/۲۳۲	-۰/۲۴۱۳۴	۷/۳۷۷۱
۳۹۹۱۳	۱۷/۲۴۱	-۰/۲۴۴۵۱	۷/۴۱۲۰
۴۱۳۳۶	۱۷/۳۹۴	-۰/۲۴۶۲۱	۷/۴۸۱۱

در شکل ۱۱ نمودار مربوط به جدول ۲ ترسیم شده است. همان‌طور که در این نمودار نیز می‌توان مشاهده کرد میزان تنش‌ها از بعد از تعداد المان ۳۹۸۸۷ تغییر محسوسی نمی‌کنند.



شکل ۱۱. نحوه تغییرات تنش‌ها در پروانه بر حسب تعداد المان استفاده شده

جدول ۳ نشان‌دهنده بیشترین تنش‌های فون مایرز، برشی، نرمال و بیشترین جابه‌جایی در پروانه پمپ گریز از مرکز در شش زمان نمونه‌برداری مختلف است.

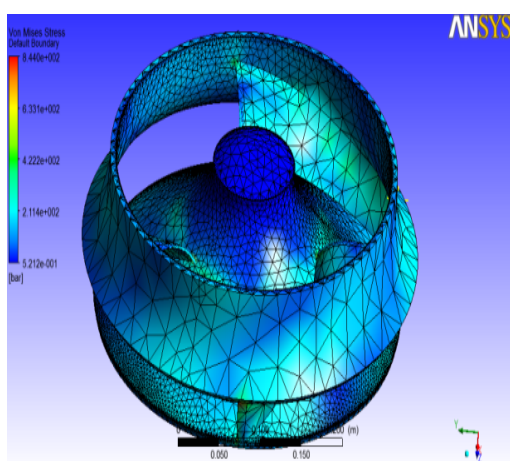
در واقع شش آنالیز طیفی با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از اداره‌ی CM و داده‌های به‌دست آمده از شبیه‌سازی‌های سیالاتی انجام شده و نتایج آنها به صورت خلاصه در جدول مذکور گنجانده شده است.

همان‌طور که در این جدول می‌توان مشاهده کرد، بیشترین تنش در تاریخ ۲۰/۱۲/۲۰۱۱ اتفاق افتاده است. در این تاریخ پمپ دارای بیشترین شوک ارتعاشی ناشی از ترکیب جابجایی‌های درون پروانه است.

در واقع در این زمان فرکانس ترکیب جابجایی‌های درون پروانه به فرکانس‌های طبیعی سیستم بسیار نزدیک است که این امر سبب ایجاد پدیده تشدید در پمپ می‌گردد.

جدول ۳. بیشترین تنش‌های فون مایرز، برشی، نرمال و بیشترین جابه‌جایی در پروانه پمپ گریز از مرکز در شش زمان نمونه‌برداری مختلف در حالت بدون سیال

تاریخ بررسی پمپ	بیشترین تنش فن‌مایرز (MPa)	بیشترین تنش نرمال در جهت Z (MPa)	بیشترین تنش برشی در جهت YZ (MPa)	بیشترین جابه‌جایی در جهت Z (mm)
۱۱/۱۰/۲۰۱۱	۸/۶۹۸۶	۵/۲۰۷۹	۳/۱۲۰۹	۰/۱۵۲۵۹
۱۹/۱۱/۲۰۱۱	۸/۰۲۶۶	۵/۸۲۷۰	۳/۴۵۹۷	۰/۱۴۵۰۴
۱۹/۱۲/۲۰۱۱	۳/۴۹۲۴	۲/۳۹۶۰	۱/۵۵۶۲	۰/۰۷۴۲۹
۲۰/۱۲/۲۰۱۱	۱۷/۲۳۱۴	۱۴/۴۱۱۰	۷/۳۷۷۱	۰/۲۴۱۳۴
۲۸/۰۱/۲۰۱۲	۸/۶۷۵۱	۷/۲۳۶۳	۳/۶۷۶۱	۰/۱۷۸۲۴
۲۹/۱/۲۰۱۲	۸/۶۶۲۸	۷/۲۳۶۱	۳/۶۷۶۱	۰/۱۷۸۲۴



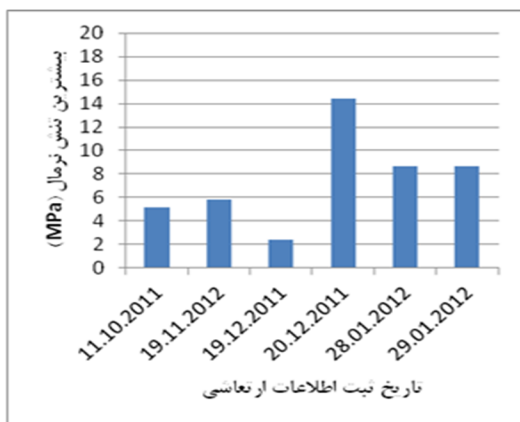
شکل ۱۲. تنش‌های فن‌مایرز به وجود آمده در پروانه پمپ در حالت کلی

شکل ۱۳ جابه‌جایی‌های به وجود آمده در پروانه پمپ را در زمان معین و به تاریخ ۲۰/۱۲/۲۰۱۱ را نشان می‌دهد. این جابه‌جایی‌ها در زمان ۴۵ ثانیه پس از شروع کارکرد پمپ نشان داده شده‌اند. مقدار هد فشار ورودی ۸ متر و سرعت چرخش پروانه ۱۴۵۰ دور بر دقیقه می‌باشد.

شکل ۱۲ تنش‌های فون مایرز به وجود آمده در پروانه پمپ را در حالت کلی به تاریخ ۲۰/۱۲/۲۰۱۱ را نشان می‌دهد. همچنین نتایج مربوط به ۴۵ ثانیه بعد از شروع کارکرد پمپ می‌باشد. در این تنش‌ها تأثیر متقابل سیال و سازه بر روی هم در نظر گرفته شده است. این کار توسط آنالیز کوپل دو طرفه در نرم‌افزار انسیس صورت گرفته است. به عبارت دیگر در این تحلیل انجام شده هم اثر فشار داخلی سیال و هم تنش‌های ناشی از ارتعاش پمپ در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در این شکل می‌توان مشاهده کرد بیشترین تنش به وجود آمده در پروانه پمپ در قسمت پره‌ی آن و در محلی است که فشار ناشی از سیال بیشترین مقدار را داراست. در شبکه‌بندی شکل‌های ۱۲ و ۱۳ از المان‌های مربعی استفاده شده است که برای کسب نتایج دقیق‌تر این المان‌ها به دو قسمت تبدیل شده است.

فولاد دارای مقاومت تسلیم در حدود 260 MPa بوده و توانایی تحمل تنش‌های ارتعاشی به‌وجود آمده در پروانه پمپ را دارد.

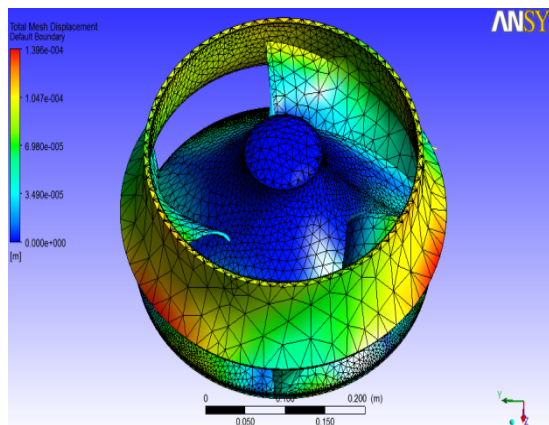
اما موضوعی که باید به آن توجه کرد؛ تداوم این تنش بر روی پروانه پمپ بوده که به نوعی سبب خستگی آن می‌شود. این خستگی به مرور زمان سبب شکستن پروانه می‌شود. همچنین شکل ۱۵ نشان‌دهنده تنش‌های نرمال به‌وجود آمده در پروانه پمپ گریز از مرکز است. محاسبه این تنش‌ها در جهت Z بوده و بیشترین مقدار به‌دست آمده در تاریخ ۲۰/۱۲/۲۰۱۱ است. تنش‌های به‌وجود آمده در این تاریخ مشابه حالت قبل در بحرانی‌ترین حالت پمپ اتفاق می‌افتد. پمپ در این شرایط کمترین فشار ورودی مثبت را داراست.



شکل ۱۵. بیشترین تنش‌های نرمال به‌وجود آمده در پمپ در زمان‌های مختلف

شکل ۱۶ نیز نشان‌دهنده تنش‌های برشی به‌وجود آمده در پروانه پمپ گریز از مرکز می‌باشد. این تنش‌ها در صفحه YZ محاسبه شده‌اند. بیشترین مقدار این نوع تنش نیز مشابه تاریخ حالت قبل است با این تفاوت که اختلاف کمتری بین تنش‌ها در زمان‌های مختلف وجود دارد. علت این امر را می‌توان تأثیر کمتر فرکانس‌های ارتعاشی بر روی این نوع تنش دانست.

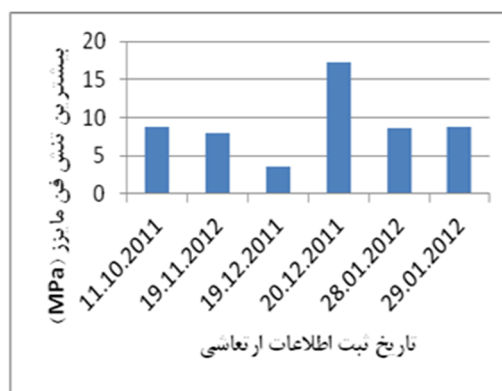
مقدار این نوع تنش هم با توجه به جنس به کار رفته در پروانه پمپ گریز از مرکز، از حد مقاومت برشی تسلیم کمتر



شکل ۱۳. جابه‌جایی‌های به‌وجود آمده در پروانه پمپ در حالت کلی

در ادامه به بررسی میزان تنش‌های ارتعاشی به‌وجود آمده در پمپ پرداخته می‌شود. بدین منظور نتایج به‌دست آمده از تحلیل‌های طیفی در زمان‌های مختلف در قالب نمودار ارائه شده و مورد بررسی قرار می‌گیرند.

شکل ۱۴ بیشترین تنش‌های به‌وجود آمده در پمپ را در زمان‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود بیشترین تنش در تاریخ ۲۰/۱۲/۲۰۱۱ اتفاق می‌افتد که در این تاریخ پمپ دارای کمترین هد خالص مکش مثبت (NPSH) ورودی است.

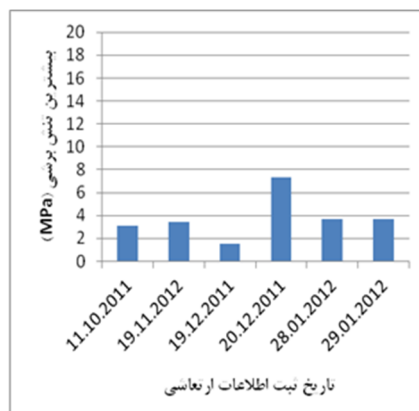


شکل ۱۴. بیشترین تنش‌های فون‌مایزرز به‌وجود آمده در پمپ در زمان‌های مختلف

ماده استفاده شده در ساخت پروانه پمپ از جنس فولاد ریخته‌گری شده است که خاصیت ضدخوردگی دارد. این نوع

همچنین کاویتاسیون می‌تواند سبب ناپایداری ناگهانی فشار و جریان شود.

است. چنانچه کاویتاسیون در پمپ اتفاق بیفتد، بازده آن کاهش می‌یابد.



شکل ۱۶. بیشترین تنش‌های برشی به وجود آمده در پمپ در زمان‌های مختلف

مهم‌ترین عامل را می‌توان پدیده کاویتاسیون دانست که ناشی از ایجاد حباب در سیال درون پمپ در قسمت‌های کم فشار آن و ترکیدن این حباب‌ها در قسمت‌های پرفشار پمپ است. وقتی کاویتاسیون در پمپ اتفاق بیفتد، بازده آن کاهش می‌یابد. همچنین کاویتاسیون می‌تواند سبب ناپایداری ناگهانی فشار و جریان شود.

۷. نتیجه‌گیری

در این مقاله سعی بر آن بود که با استفاده از تحلیل‌های نرم‌افزاری و اطلاعات موجود از داده‌های تجربی به تحلیلی قابل قبول و دقیق از تنش‌های ناشی از ارتعاشات پمپ گریز از مرکز دست یابیم. به‌طور کلی ارتعاشات این نوع پمپ ناشی از پدیده‌های جریان بوده و بیشتر ناشی از تأثیر عوامل خارجی بر روی عملکرد پمپ می‌باشد.

۸. مأخذ

- [1] Iversen HW, Rolling RE, Carlson JJ. "Volute pressure distribution, radial force on the impeller, and volute mixing losses of a radial flow centrifugal pump". *Journal of Engineering for Power*, Vol.82, No.2, 1960, pp.36-43.
- [2] Stepanoff, A.J., "Centrifugal and Axial Flow Pumps", Wiley, New York, 1957.
- [3] Karrasik, I.J., Krutzsch, W.C., Fraser. W.H., and Messina J.P., "Pump Handbook" McGraw Hill, New York, 2003.
- [4] Pedersen, Nicholas, Poul S. Larsen, and Christian B. Jacobsen. "Flow in a centrifugal pump impeller at design and off-design conditions—part I: particle image velocimetry (PIV) and laser Doppler velocimetry (LDV) measurements." *Journal of Fluids Engineering* Vol.125, no.1, 2003, pp.61-72.
- [5] Al Hariri NH. "The Stability Conditions of the Pump Structure Vibration", *Al-Khwarizmi Engineering Journal*. Vol.8, No.2, 2012, pp.54-62.
- [6] Rajendran,S.,and Purushothaman,K., "Analysis of a centrifugal Pump impeller using ANSYS-CFX", *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, May 2012, Vol.1, Issue 3.
- [7] McNulty, P.J. and Pearsall, I.S., "Cavitation inception in pumps", *ASME Int. Symp. on Cavitation Inception*, 1979, pp.163-170.

[8] YAMAMOTO K., "Instability in a cavitating centrifugal pump" *JSME International Journal. Ser.2, Fluids engineering, heat transfer, power, combustion, thermophysical properties*. Vol.34, No.1, 1991, pp.9-17.

[۹] نصیری، محمد رضا، "استفاده از پردازش سیگنال ارتعاشی در پمپ های گریز از مرکز جهت شناسایی کاویتاسیون"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۳۸۹.

[۱۰] طالبی، هادی، "تحلیل ارتعاشی پمپ سانتریفیوژ توسط نرم افزار ANSYS و با استفاده از معیار استاندارد API۶۱۰"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۳۸۹.

[۱۱] خالقی، امیر جواد، "تشخیص وقوع کاویتاسیون در پمپ های گریز از مرکز با تحلیل سیگنال های ارتعاشی بدنه پمپ"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.

پی نوشت:

1. Shaft
2. Diffuser
3. Vibration function
4. Net Positive Suction Head (هد خالص مکش مثبت)
5. Impeller
6. Finite Element
7. Boundary conditions
8. Modal Analysis
9. Image Processing